

I cupronickel sono leghe di rame in cui il nichel è il principale elemento aggiunto, caratterizzate da un'ottima resistenza all'erosione e alla corrosione dell'acqua di mare e per questo largamente impiegate in impianti di dissalazione e condensatori marini

Marco Crespi

# Cupronickel: un... mare di applicazioni

I cupronickel sono leghe di rame in cui il nichel è il principale elemento aggiunto. Sono caratterizzate da un'ottima resistenza alla corrosione dell'acqua di mare e per questo largamente impiegate in impianti di dissalazione e condensatori marini; sono anche apprezzate per resistenza all'erosione.

Altri elementi possono conferire o migliorare una determinata caratteristica: il ferro aumenta la resistenza meccanica e alle alte velocità di flusso (impingement); il manganese viene usato per disossidare/desolfurare e migliorare la lavorabilità; il cromo può rimpiazzare il ferro (fino all'1%) e assicura una più alta resistenza meccanica; lo stagno aumenta la

**FIG|01** La Romano Rosati, imbarcazione con lance anti-incendio usata dal corpo dei Vigili del Fuoco. Lo strato esterno della chiglia è costituito da un cupronickel 90-10.



resistenza al tarnishing (perdita di lucentezza) e l'elasticità (viene utilizzato nei contatti a molla dei relè, interruttori e connettori); niobio e silicio possono essere aggiunti in particolari casi. Altri elementi come piombo, bismuto, zolfo e fosforo non hanno effetti sulla resistenza alla corrosione, ma vengono tenuti sotto controllo perché influenzano negativamente le lavorazioni a caldo.

Si noti che il nichel è perfettamente solubile nel rame in qualsiasi proporzione: nelle leghe binarie non si osservano strutture cristalline eterogenee e non sono possibili fenomeni di tempra: questo è spiegabile con la notevole vicinanza dei valori delle costanti fisiche (dimensioni atomiche, costanti reticolari) dei due metalli.

Le composizioni delle principali leghe sono riportate in **tab. 1**; le più note sono la CuNi30Mn1Fe e la CuNi10Fe1Mn, comunemente chiamate 70-30 e 90-10: le prime hanno una maggiore resistenza, ma le seconde sono comunque più usate per il loro minore costo e le buone prestazioni nella maggior parte degli utilizzi.

I cupronickel (che chiameremo anche "CuNi") sono prodotti sotto forma di lastre, nastri, tubi, fili e getti: ai fini di questo articolo concentreremo la nostra attenzione su lastre, nastri e le loro applicazioni.

## RESISTENZA MECCANICA

La presenza del nichel aumenta la durezza e il carico di rottura, mantenendo però la duttilità vicina a quella del rame. Il carico di rottura R delle principali leghe è superiore ai 300 N/mm<sup>2</sup> e può toccare anche i 560 N/mm<sup>2</sup> nominali (vedi **tab. 2**); per un primo confronto, le lastre in rame Cu-DHP incrudito usate in edilizia hanno valori di 290 N/mm<sup>2</sup>.

Elevati valori di durezza possono essere ottenuti attraverso l'indurimento per precipitazione: in questo caso elementi come silicio, cromo, alluminio e berillio vengono appositamente aggiunti alla lega.

Ad esempio, con trattamenti termici specifici si riesce a triplicare i valori di durezza della CuNi5Al4Mn2; altre leghe "induribili" sono la CuNi30Cr3, e CuNi2Be e la CuNi2Si (queste ultime due non sono veri e propri cupronickel, ma leghe "bassolegate").

Alle basse temperature i CuNi – come altri materiali con struttura cristallina cubica a facce centrate – non infragiliscono. Questa duttilità e una adeguata conducibilità termica fanno sì che i cupronickel siano materiali ideali per scambiatori di calore e per altri componenti negli impianti di liquefazione e stoccaggio dei fluidi criogenici; anzi, il rame e le sue leghe sono stati i primi materiali usati per questo scopo.

## OSSERVAZIONI GENERALI SULLE LAVORAZIONI

La prima regola da osservare trattando una lega rame-nichel è quella della massima pulizia: sporcizia, grassi, scritte col pennarello possono compromettere lavorazioni successive, soprattutto se a caldo; viene raccomandato di cambiare alcuni strumenti come i dischi delle smerigliatrici quando si passa da un altro materiale a una lega CuNi: perfino piccole contaminazioni della lastra possono creare rotture o porosità durante trattamenti termici e saldature, nonché influire sulla resistenza alla corrosione.

Il taglio di una lega CuNi può essere effettuato in più modi, come la tranciatura, i dischi abrasivi, il taglio al plasma (ma non l'ossiacetilene); dischi abrasivi ad alta velocità smussano e rimuovono bene il materiale; a questo proposito va segnalato che la lavorabilità all'utensile è maggiore di quella degli acciai e simile ai bronzi al fosforo e all'alluminio.

I cupronickel possono essere lavorati sia a caldo che a freddo. La lavorazione a freddo è preferibile e, in caso di deformazioni consistenti (40-50% del totale), deve essere seguita da una ricottura; una deformazione a freddo che produca una riduzione di sezione del 20% provoca approssimativamente il dimezzarsi dell'allungamento a trazione e il raddoppio del limite di elasticità.

Come detto in precedenza, le lavorazioni a caldo sono da effettuare con attenzione a causa della sensibilità alle impu-



**FIG|02|** Imbarcazione per i Vigili del Fuoco: la chiglia è ricoperta da lastre sandwich di 6x3 m e uno spessore di 6 mm di acciaio e 2 mm di cupronickel uniti per laminazione.

rezze: tenori di zolfo, piombo, fosforo e altri elementi a basso punto di fusione devono essere mantenuti a limiti minori di quelli indicati dalle norme, poiché tali elementi possono creare fragilità a caldo: in ogni caso, le piegature e le formature ad alta temperatura vanno effettuate solo sotto le specifiche del produttore.

Tenendo conto di queste precauzioni, i range consigliati sono 850-950 °C per la 90-10 e 925-1025 °C per la 70-30.

### TRATTAMENTI TERMICI

Le temperature dei trattamenti termici variano a seconda della composizione: per la ricottura la letteratura tecnica riporta valori compresi tra 600 e 825 °C per la 90-10 e di 650-850 °C per la 70-30, con tempi di 3-5 minuti per millimetro di spessore; per i processi di distensione, si hanno 250-500 °C e 300-460 °C rispettivamente per la 90-10 e la 70-30.

Durante i trattamenti termici bisogna anche tenere conto del tipo di atmosfera del forno, che deve essere neutra o lieve-

mente riducente: altrimenti si ottengono ossidi superficiali tenacemente ancorati alla superficie. Lo stesso problema può verificarsi dopo una saldatura. Gli ossidi sono eliminabili attraverso dischi abrasivi a grana molto fine o un decapaggio in acido solforico caldo con dicromato di potassio.

### SALDATURA

Senza volere entrare nei dettagli, è opportuno scrivere qualche riga sulle operazioni di saldatura e brasatura delle leghe rame-nichel.

Sono possibili diverse tecniche: la più "classica" è la saldatura a elettrodo rivestito (Smaw), che ha l'apprezzabile vantaggio di necessitare di apparecchiature relativamente poco costose. La saldatura TIG (Gtaw) fornisce giunzioni di alta qualità, ma richiede operatori specializzati. La saldatura MIG (Gmaw) è apprezzata per la velocità. L'ossiacetilenica (OFW o OAW), sebbene possibile, non è consigliata.

Prima di iniziare la saldatura, è necessario rimuovere le trac-

## Asperida, Copper Mariner II e i Vigili del Fuoco

A conoscenza di chi scrive, la barca con il più antico scafo in cupronickel tuttora in servizio è la Asperida, varata nel 1967 e costruita nei cantieri di Wormerveer, in Olanda. Il materiale per lo scafo fu scelto personalmente dal primo proprietario, K.W.Coons, un professore di Ingegneria Chimica ed esperto anche in metallurgia e corrosione, al termine di lunghe ricerche prestazionali condotte anche sul campo.

Interessanti sono state anche le considerazioni economiche che hanno accompagnato la scelta del materiale: uno scafo in CuNi (considerando materiale, manodopera, accessori, spese generali ecc.) sarebbe costato quasi il 12% in più di uno in acciaio al carbonio, ma le minori spese di manutenzione hanno fatto stimare un ritorno economico di soli 5 anni; Coons aveva prospettato anche una vita utile del CuNi maggiore rispetto all'acciaio al carbonio.

La barca, di 16 m di lunghezza, ha uno scafo costituito da lastre in 70-30 spesse 4 mm (5mm per la chiglia) sostenute da una struttura dello stesso materiale. Le giunzioni tra lastra e lastra, lastra e struttura e lo scheletro della struttura sono state eseguite attraverso saldatura. Lungo le sue navigazioni, la Asperida ha incontrato... fondali e rocce, ma la struttura ha retto i colpi, riportando solo qualche ammaccatura e nessuna falla. Nel corso del tempo è stato osservato che il biofouling non attecchiva e se lo faceva, poteva essere rimosso con estrema facilità e che lo scafo sottostante era pulito senza segni di corrosione. Nel maggio 2004, nel corso di operazioni di raddobbo e rinnovo, è stata eseguita un'approfondita ispezione, che ha rilevato un eccellente stato generale dello scafo; inoltre la perdita di spessore media delle lastre variava da 0,003 (prua) a 0,023 (poppa) fino a 0,045 mm/anno (chiglia).

La prima barca dotata di scafo in piastre bimetalliche acciaio-cupronickel è stata la "Copper Mariner II", varata nel 1977. In questo caso una lega 90-10 di 2 mm di spessore era unita per laminazione all'acciaio sottostante, sostenuto a sua volta da una struttura in acciaio. Il successo e l'affidabilità della "Copper Mariner II" hanno avuto positive conseguenze in Italia: nella prima metà degli anni '80 il Ministero degli Interni ha commissionato alla Ortona Navi S.p.A. 6 imbarcazioni per il corpo dei Vigili del Fuoco, esternamente ricoperte da cupronickel, al fine di minimizzare i problemi legati al biofouling (cioè attriti, tempi e costi di manutenzione). Le piastre utilizzate per lo scafo (lungo 22,56 m e largo 5,78 m) misurano 6 m x 3 m x 2+6 mm di spessore, con uno strato intermedio di nichel tra l'acciaio e il 90-10. A vent'anni circa di distanza, il cupronickel ha dimostrato la sua tenuta e quindi ancora una volta la sua affidabilità per queste applicazioni.

**TAB|01** Designazione e composizione leghe principali

ISO	CEN	UNS	Composizione (%)
CuNi25	CW350H	C71300	Ni 24,0-26,0 ; Zn 0,5 max; Mn 0,5 max; Cu resto
CuNi9Sn2	CW351H	C72500	Ni 8,5-10,5; Sn 1,8-2,8; Fe 0,3 max; Cu resto
CuNi10Fe1Mn	CW352H	C70600	Ni 9,0-11,0; Fe 1,0-2,0; Mn 0,5-1,0; Cu resto
CuNi30Mn1Fe	CW354H	C71500	Ni 30,0-32,0; Fe 0,4-1,0; Mn 0,5-1,5; Cu resto

Le caratteristiche tecnologiche (resistenza meccanica, allungamento, durezza) delle leghe designate in questa tabella sono reperibili nella UNI EN 1652 ("Rame e leghe di rame – piastre, lastre nastri e dischi per usi generali"); nella norma sono riportate anche altre leghe con un ragguardevole tenore di nichel, come la CuNi18Zn20, ma qui ci limitiamo a elencare quelle in cui il nichel è il principale elemento aggiunto.

ce di sporcizie che possono portare a rotture a caldo: l'area interessata va accuratamente pulita e asciugata.

Anche i lembi da unire vanno adeguatamente preparati: nel caso di spessori sopra i 3 mm è necessario eseguire smussature a V, formando angoli di 70-80° di apertura, mentre al di sotto di questi spessori si possono tenere i lembi squadrati; oltre i 13 mm si suggeriscono giunti a doppia V. È sempre preferibile effettuare la saldatura sul piano orizzontale.

Il materiale d'apporto della saldatura è costituito preferenzialmente da leghe di composizione CuNi30, che vengono usate sia per la 90-10 sia per la 70-30; esse contengono anche tracce di titanio (0,20-0,50%) capaci di ridurre la formazione di porosità e l'infragilimento derivato da ossigeno; sono disponibili anche leghe la cui composizione si avvicina più alla 90-10, anche se non raggiungono le caratteristiche qualitative della CuNi30.

Quando bisogna saldare una lastra CuNi su un materiale dissimile, bisogna seguire qualche attenzione in più: con gli acciai (che è poi il caso più frequente) si impiegano le tecniche MIG e TIG e si usano leghe d'apporto notevolmente ricche in nichel (65%), in grado di reggere meglio i fenomeni di diluizione del ferro che, se non controllati, possono portare a cricche di ritiro.

Al termine della saldatura è necessario rimuovere le scorie ed effettuare un'ispezione, per verificare la presenza di eventuali difetti quali cricche, mancanze di fusione e/o penetrazione; il metodo dei liquidi penetranti è adatto per assicurarsi che non vi siano cricche in superficie, mentre sono richieste tecniche più avanzate per analizzare l'interno (come la radiografia) solo per pezzi destinati ad applicazioni speciali.

## BRASATURA

Si può dire che la brasatura richiede una pulizia superficiale ancora maggiore rispetto alla saldatura, dal momento che il processo si basa sulla "bagnabilità" della lega d'apporto sulle superfici da unire; quindi bisogna rimuovere ogni traccia di sporcizia e ossidi, per esempio con solventi o carta smerigliata. Possono essere usate leghe d'apporto di com-

posizione differente a seconda della necessità: per esempio, quelle ad alto contenuto di argento come le AG105, AG203 e AG103 sono indicate per giunzioni su lastre esposte all'acqua di mare; per le brasature dolci sono impiegabili quelle a base stagno, come la S-Sn97Ag3 e la S-Sn97Cu3.

Al contrario di quello che accade nella giunzione del rame e di altre sue leghe, bisogna evitare i metalli d'apporto contenenti fosforo (come nelle classiche "bacchette"): infatti si forma un fosfuro di nichel che provoca fragilità.

In genere la brasatura si applica per unire tubi e raccordi; in questo caso si preferisce usare materiale d'apporto a forma di anello, pre-posizionato in prossimità dell'interstizio da riempire. Una volta eseguita la brasatura, si devono eliminare le tracce residue di flusso: generalmente basta semplice acqua calda.



**FIG|03** La Copper Mariner, una delle prime barche con scafo in cupronickel, dello spessore di 6 mm. È stata varata nel 1971.



**FIG|04** | I rivestimenti di lastre in lega rame nichel sono usati per proteggere dalla corrosione le strutture delle piattaforme offshore. Queste leghe sono molto apprezzate per applicazioni marine.

### RESISTENZA ALLA CORROSIONE

I cupronickel sono tra le leghe più resistenti alla corrosione, in particolare quella marina; rispetto al rame e alle altre sue leghe sopportano meglio la tensocorrosione, la dealligazione e perfino i composti ammoniacali.

La resistenza all'acqua di mare è dovuta alla formazione naturale di un film sottile e compatto, costituito soprattutto da un ossido di rame rinforzato dalla presenza di nichel e ferro (**tab. 1**).

Un fattore-chiave che influenza la corrosione è la velocità del fluido: le tubazioni degli scambiatori di calore in 90-10 possono sopportare velocità fino a 2,5 m/s e quelle in 70-30 fino a 3 m/s; al di sopra potrebbero verificarsi fenomeni di corrosione-erosione. Si noti che questi valori sono stime prudenziali valide per flussi continui, ma nel caso di imbarcazioni in mare aperto cambiano le condizioni idrodinamiche: scafi in CuNi hanno sostenuto velocità di 12-15 m/s senza danni; pertanto per brevi periodi si possono mantenere ve-

## La battaglia di Trafalgar

Possiamo dire che l'antenato del cupronickel nelle applicazioni marine sia stato il rame. Le prime proposte di rivestire gli scafi con questo metallo furono fatte già nel 1708 ma solamente a metà del XVIII secolo la Royal Navy (la Marina britannica) cominciò a proteggere le sue navi, avendo capito che i benefici della velocità e del tempo di permanenza in mare superavano gli alti costi iniziali.

I risultati si videro nella celebre battaglia di Trafalgar, combattuta dalla flotta franco-spagnola contro quella inglese, comandata dall'ammiraglio Nelson a bordo della Victory.

Come è noto, vinsero gli Inglesi e tra i fattori che contribuirono alla vittoria ci fu anche il rame: i loro scafi, liberi da alghe e molluschi, permettevano una migliore manovrabilità e una più alta velocità in acqua. Viene riportato che lo scafo della Victory era ricoperto da 3923 fogli di rame fissati da circa 550.000 chiodi, sempre di rame.

**TAB|02|** Resistenza a trazione e durezza Vickers di lastre in cupronickel (da UNI EN 1652, prospetto 3)

Lega		Designazione stato metallurgico	Resistenza a trazione (min-max) (N/mm <sup>2</sup> )	Durezza (min-max)
CuNi25	CW350H	R290	290 -	70-100
		H070		
CuNi9Sn2	CW351H	R340	340-410	75-100
		H075		
		R380	380-470	110-150
		H110		
		R450	450-530	140-170
		H140		
		R500	500-580	160-190
		H160		
		R560	560-650	180-210
		H180		
CuNi10Fe1Mn	CW352H	R300	300-	70-120
		H070		
		R320	320-	100-
		H100		
CuNi30Mn1Fe	Cw354H	R350	350-420	80-120
		H080		
		R410	410-	110-
		H110		

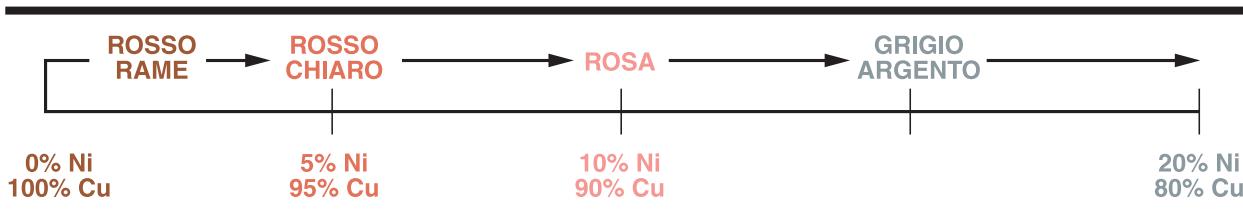
locità di flusso molto alte. Nella scala di nobiltà dei materiali in ambiente marino (spesso usata per prevenire eventuali accoppiamenti galvanici sfavorevoli) i cupronickel occupano una posizione medio/medio-alta, con il 70-30 lievemente più nobile del 90-10.

**PIATTAFORME MARINE E SCAFI DELLE NAVI**

Come anticipato all'inizio dell'articolo, la maggior parte dei cupronickel viene impiegata dove è richiesta eccellente resistenza alla corrosione marina e al biofouling: per esempio nei condensatori, raffreddatori e altri scambiatori di calore a contatto con l'acqua di mare e negli impianti di desaliniz-

zazione. I CuNi sono utilizzati anche per gli scafi delle navi: così molluschi e/o alghe non colonizzano o colonizzano in misura minima la superficie sotto il pelo dell'acqua: si hanno meno resistenze al moto della nave e minori costi per lo "scrostamento" e manutenzione della stessa, eliminando la necessità di applicare periodicamente vernici e rivestimenti anti-fouling. Le leghe Cu-Ni sono impiegate anche nella splash-zone delle piattaforme off-shore, dove la corrosione è particolarmente aggressiva. Ad esempio, i montanti e le strutture di sostegno delle piattaforme petrolifere sono protetti con piastre metalliche di rivestimento; per questo scopo sono utilizzate anche alcune "varianti", come lamie-

**FIG|05|** Variazioni di colore in relazione alla quantità di zinco o di nichel aggiunte al rame.



re di neoprene con granuli di lega (che “emergono” comunque per il 30% della superficie totale), lastre adesive, lastre con struttura a “maglia”. Le lastre in lega 90-10 sono quelle che possiedono il maggiore potere anti-fouling, data la maggiore quantità di ioni rame disponibili. Queste vengono applicate come rivestimento sulle strutture d'acciaio attraverso saldature o fissaggi meccanici; questo accoppiamento galvanico acciaio-cupronickel provoca però una diminuzione delle proprietà anti-fouling: pertanto si preferisce isolare elettricamente i due materiali, per esempio pompando cemento, un epossido o più semplicemente inserendo una gomma tra i due. Le lastre hanno uno spessore che varia generalmente dai 3 ai 5 mm e devono estendersi da sotto la linea di bassa marea a una decina di metri sopra il livello del mare (a titolo di esempio, sulle piattaforme di Morecombe Field, nel Mare d'Irlanda, sono state saldate lastre di 4 mm, fissate da -2 m sotto la linea di bassa marea fino a una quota di +13m). Le lastre sono pre-piegate a forma di mezzo cilindro, i cui lati verticali vengono sovrapposti a quelli di un altro mezzo cilindro: la lega è saldata in senso longitudinale con se stessa, usando come materiale d'apporto elettrodi fusibili di composizione 70-30. Le saldature orizzontali sono eseguite



**FIG|06|** La parte bianca delle monete da 1 e 2 euro è una lega CuNi25; lo “sbiancamento” del rame avviene già a tenori di nichel del 20%.

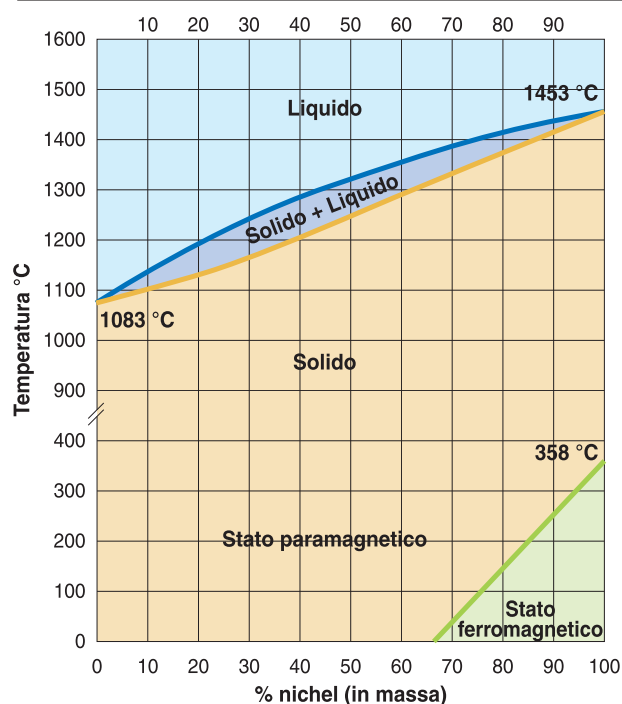
direttamente sull'acciaio: in questo caso gli elettrodi sono leghe al 65% in nichel, come anticipato in precedenza. Se la struttura di sostegno ha una superficie ruvida o non adatta a essere saldata direttamente con il cupronickel, si interpone un secondo acciaio come banda intermedia. Le leghe Cu-Ni sono materiali adatti per il rivestimento degli

scafi delle navi. Per questi utilizzi sono più frequenti le leghe 70/30: l'alta percentuale di nichel rende la lega meno sensibile all'erosione e alla velocità di flusso. Ormai ci sono esperienze ultra trentennali di barche protette da lastre in CuNi, che si sono fatte apprezzare anche per la resistenza meccanica (vedi riquadro a pag. ???). Gli scafi possono essere costituiti da lastre fissate su una struttura dello stesso materiale o di acciaio (quest'ultima debitamente protetta dalla corrosione galvanica attraverso vernici protettive). In alternativa cupronickel e acciaio vengono uniti a formare piastre bimetalliche più resistenti ed economiche rispetto a un cupronickel di pari spessore; queste sono ottenute per placcatura laminando a caldo i due materiali, oppure per onda d'urto esplosiva. Gli scafi di molte navi, anche italiane, sono stati costruiti con questa tecnica.

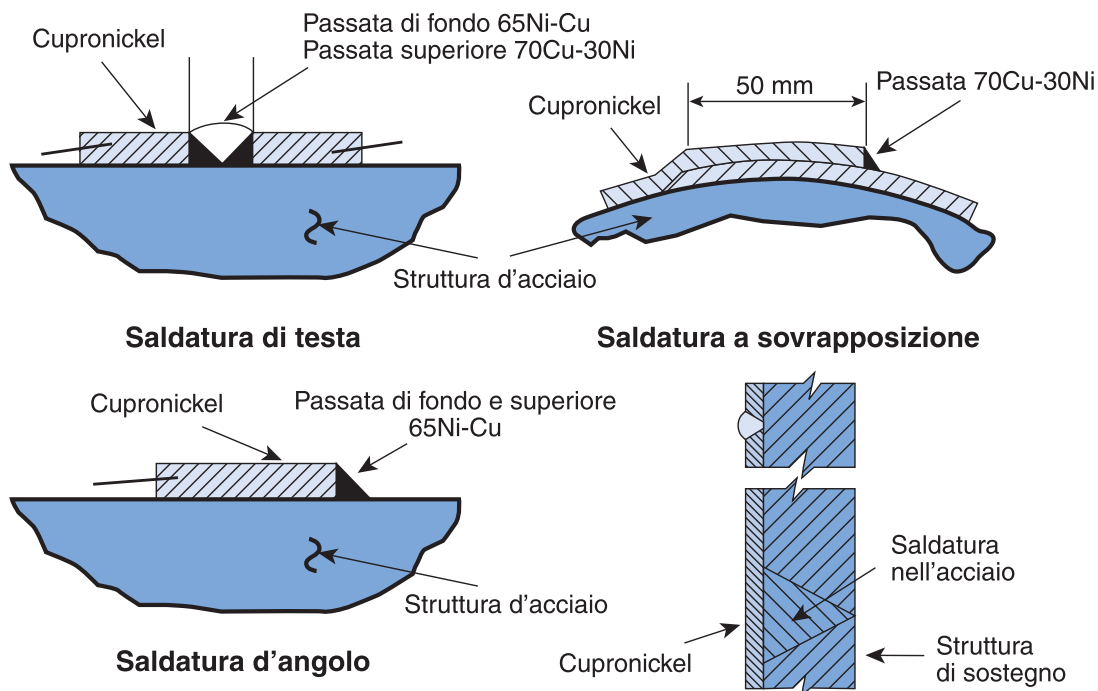


**FIG|07|** Negli impianti di dissalazione le lastre in cupronickel vengono impiegate come materiale per i serbatoi, i separatori a flash e i tubi di grandi diametri.

**FIG|08|** Il diagramma di stato rame-nichel: i due elementi sono vicini tra loro nella tavola periodica (numero atomico 29 e 28) e sono completamente miscibili in fase liquida e solida.



**FIG|09** Esempi di saldature delle lastre in lega Cu-Ni, applicate sopra le strutture di sostegno delle piattaforme off-shore (protezione della splash-zone).



**DISSALAZIONE E CENTRALI DI PRODUZIONE DI ENERGIA**

I cupronickel vengono largamente impiegati negli impianti di dissalazione dell'acqua marina. In particolare, lastre in 90-10 vengono usate nei separatori a flash, da sole o come materiale di rivestimento di lastre in acciaio (una alternativa più economica è quella di saldare le lastre ai rinforzi esterni in acciaio).

I serbatoi per l'acqua di mare e la salamoia sono costituiti da leghe 90-10, così come le tubazioni; se per queste ultime è previsto un diametro esterno superiore ai 400 mm, allora vengono fabbricate partendo da lastre.

I CuNi sono utilizzati anche da quelle industrie che necessitano di molta acqua per i loro sistemi di raffreddamento, come le centrali di produzione di energia: spesso ci si rifornisce direttamente da fiumi, mari e laghi, che portano inevi-

tabilmente con sé particelle come sabbia. Per evitare l'erosione dovuta al loro trasporto, si impiegano preferibilmente leghe con alta percentuale di nichel (30%).

**MONETAZIONE**

Una "preziosa" applicazione dei cupronickel si trova nella monetazione. Il nichel modifica le proprietà cromatiche del rame, "sbiancandolo": infatti è sufficiente un tenore del 20% per ottenere un colore grigio metallico (**fig. 5**). Un esempio è sottomano a tutti noi: la parte "bianca" delle monete da 1 e 2 euro è la lega CuNi25 (**fig. 6**). Le monete si producono partendo da nastri, che vengono conati da appositi macchinari. Per dare una idea approssimativa della quantità di metallo utilizzato, basta sapere che solamente in Italia al 31 dicembre 2001 erano stati coniate 950 milioni di monete da 1 euro e 310 milioni da 2 euro. ■

**BIBLIOGRAFIA**

[1] W. Nicodemi, *Metallurgia*.  
 [2] G. Bianchi, F. Mazza, *Corrosione e protezione dei metalli*.  
 [3] S. Cambell, R. Fletcher, C. Powell, *Long-term exposure trials evaluating the biofouling and corrosion resistance of copper-nichel alloys sheathing materials*.  
 [4] C. Powell, H. Michels, *Review of splash zone corrosion and biofouling C70600 sheated steel during 20 years exposure*  
 [5] Copper Development Associaton USA, [www.coppernickel.org](http://www.coppernickel.org).  
 [6] Copper Development Association UK, [www.cda.org.uk](http://www.cda.org.uk).  
 [7] ASM Handbook vol. 4, *Heat treatment*.  
 [8] ASM Handbook vol. 6, *Welding, brazing and soldering*.  
 [9] A. Torricelli, *La saldatura del rame e delle sue leghe (4a parte)*, "Lamiera" n.2, febbraio 2004.  
 [10] UNI EN 1652, *Rame e leghe di rame - Piastre, lastre, nastri e dischi per usi generali*.  
 [11] M. Lancia, E. Martellucci, *Le leghe di rame e la monetazione: la moneta unica europea*.  
 [12] H. Michels, K. Geremia, *The Asperida, a copper-nichel sailboat after more than 30 years in seawater*.  
 [13] P. Goodwin, *Nelson's Victory - 101 Questions & Answers about HMS Victory, Nelson's Flagship at Trafalgar 1805*.  
 [14] [en.wikipedia.org/wiki/Copper\\_sheathing](http://en.wikipedia.org/wiki/Copper_sheathing).